

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 03 JUL. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

### DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 25  
www.inpi.fr

BEST AVAILABLE COPY

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W /260899

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>5 JUIL 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0208470</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>05 JUIL 2002</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> Michel GUERIN THALES Intellectual Property 13, Avenue du Président Salvador Allende 94117 ARCUEIL CEDEX	
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b> <b>62837</b>			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale N° _____ Date ____/____/____ ou demande de certificat d'utilité initiale N° _____ Date ____/____/____			
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale N° _____ Date ____/____/____			
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> PROCEDE D'AIDE A LA NAVIGATION D'UN AERONEF ET DISPOSITIF CORRESPONDANT			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		THALES	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5 . 5 . 2 . 0 . 5 . 9 . 0 . 2 . 4	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	173, Boulevard Haussmann	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>5 JUIL 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0208470</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		<b>62837</b>	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		GUERIN	
Prénom		MICHEL	
Cabinet ou Société		THALES	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		8325	
Adresse	Rue	13, Avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 41 48 45 32	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 41 48 45 01	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)</i> :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  MICHEL GUERIN		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	

## PROCEDE D'AIDE A LA NAVIGATION D'UN AERONEF ET DISPOSITIF CORRESPONDANT

L'invention concerne un procédé et un dispositif embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef.

Le domaine de l'invention est celui de l'aide à la navigation et à la sécurité aériennes et concerne plus particulièrement l'aide à l'alignement d'un aéronef sur une trajectoire prédéterminée comme par exemple une trajectoire d'approche.

On désigne aussi par trajectoire à capturer, la trajectoire sur laquelle l'aéronef doit s'aligner ; il s'agit a priori d'une trajectoire qui n'évolue pas ou peu pendant la capture.

Par la suite on considère plus particulièrement des trajectoires sol c'est-à-dire les projections au sol des trajectoires des aéronefs.

Comme illustré figure 1, lorsqu'un avion par exemple s'apprête à atterrir, la trajectoire 1 à capturer pour atterrir sur une piste 5, s'affiche sur l'écran de navigation 4 de l'avion qui est lui-même schématiquement représenté sur l'écran sous la référence 3. Il s'agit d'une trajectoire 1 sol comportant des repères 2 d'altitude ou de points de contrôle, envoyée par un contrôleur aérien de l'aéroport. Au fur et à mesure de la progression de l'avion 3, cette trajectoire 1 sol défile sous l'avion situé au centre de l'écran de navigation 4 et dont le cap est repéré en degrés (275° dans le cas de la figure). Pour ne pas surcharger la figure, les mesures fournies par les capteurs de l'avion et qui sont affichées sur cet écran de navigation ne sont pas représentées.

Dans certains cas, cette trajectoire ne défile pas exactement sous l'avion, notamment lorsque la position même de l'avion n'est pas affichée sur l'écran de navigation avec suffisamment de précision. Ce peut être le cas lorsque les moyens de calcul et/ou d'affichage de la trajectoire de l'avion qui sont embarqués à bord de l'aéronef, sont insuffisamment précis.

Dans d'autres cas, cette trajectoire ne défile pas sous l'avion car l'avion n'est pas aligné dessus en particulier en raison du vent qui déporte l'avion et l'empêche par exemple de respecter le virage prévu.

Plusieurs possibilités s'offrent alors au pilote, que le pilotage soit en mode manuel ou en mode « sélection » dans lequel le pilote automatique

reçoit des ordres du pilote au lieu de les recevoir du système de gestion de vol.

L'avion 3 commandé par le pilote, peut alors capturer cette trajectoire 1 plus loin au terme d'une trajectoire 10 comme illustré figure 2a) ;  
 5 dans ce cas, il reste moins de temps au pilote pour mettre en œuvre les différentes procédures d'atterrissage qui de ce fait deviennent plus risquées.

Pour ne pas se retrouver dans cette situation, le pilote peut décider de décrire une boucle 11 comme illustré figure 2b) ; cela lui permet de capturer la trajectoire 1 en un point qui ne le pénalisera pas pour mettre  
 10 en œuvre les différentes procédures d'atterrissage. Mais cette solution retarde alors l'atterrissage de l'avion ce qui présente des risques pour l'avion suivant lorsque les fenêtres d'atterrissage entre deux avions sont rapprochées.

Une autre solution consiste à ce que le pilote lui-même anticipe la  
 15 mise en virage ; mais il est difficile pour le pilote de prendre en compte précisément l'effet du vent qui sera subi pendant le virage de capture.

Un arc de cercle prédisant la tendance de la trajectoire air de l'avion dès que celui-ci est en virage, peut aussi être calculé par les moyens de calcul embarqués et s'afficher sur l'écran de navigation. Une trajectoire air  
 20 est une trajectoire idéale qui ne prend pas en compte l'effet du vent. Mais il ne s'agit que d'une tendance et un tel arc de cercle ne prédit pas avant le virage la future trajectoire air ni la future trajectoire sol de l'avion notamment en cas de vent.

Un autre inconvénient commun à ces solutions est de ne pouvoir  
 25 déterminer avec précision ni la position ni l'instant de la capture.

Un but important de l'invention est donc de permettre de capturer au mieux une trajectoire prédéterminée, en prenant en compte l'effet du vent sur la trajectoire de l'aéronef.

Dans la suite on désigne par palpeur la trajectoire sol que suivrait  
 30 l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe.

Pour atteindre ces buts, l'invention propose un procédé d'aide à la navigation d'un aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes consistant à :

35 a) calculer en fonction du vent un palpeur,

b) afficher sur un écran de navigation le palpeur et une trajectoire sol à capturer, en vue de déterminer une mise en virage de l'aéronef permettant de capturer au mieux la trajectoire à capturer.

Selon une caractéristique de l'invention, il comporte en outre une  
 5 étape consistant à donner l'ordre de la mise en virage lorsque le palpeur tangente la trajectoire sol à capturer.

Le procédé selon l'invention est basé sur l'affichage simultané (étape b) d'une trajectoire à capturer qui a priori n'évolue pas ou peu pendant la capture et d'un palpeur calculé (étape a) en fonction du vent à des  
 10 instants successifs : dès qu'il apparaît que le palpeur tangente la trajectoire à capturer, un ordre de mise en virage de l'aéronef est donné (étape c), ce virage permettant compte tenu du vent de capturer au mieux la trajectoire, sinon les étapes a), b) et c) sont réitérées.

La mise en virage est déterminée pour permettre de mieux  
 15 capturer la trajectoire que si l'aéronef avait été mis en virage en respectant fidèlement la trajectoire à capturer ; déporté par le vent, l'avion aurait alors capturé la trajectoire plus loin (ou éventuellement plus près). Cette mise en virage anticipée (voire retardée) permet en outre de prédire précisément le point de capture, c'est-à-dire la position par rapport au sol du point de  
 20 capture et éventuellement l'instant de capture et ceci quelles que soient la position et l'orientation initiales de l'avion et quel que soit le mode de pilotage.

L'invention a aussi pour objet un équipement embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef comportant au moins une mémoire de programme et  
 25 une interface utilisateur, caractérisé en ce que la mémoire de programme comporte un programme de calcul d'un palpeur, et un programme d'affichage sur l'interface utilisateur d'une trajectoire à capturer et du palpeur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non  
 30 limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 déjà décrite représente schématiquement un écran de navigation sur lequel est affichée une trajectoire à capturer,

les figures 2a) et 2b) déjà décrites représentent schématiquement des exemples de trajectoire de l'avion lorsque celui-ci ne peut respecter la  
 35 trajectoire à capturer en raison de l'effet du vent,

la figure 3 est un organigramme représentant les principales étapes du procédé selon l'invention,

la figure 4 illustre schématiquement la comparaison d'un palpeur et d'une trajectoire à capturer pour deux positions A ou B de l'avion,

5 la figure 5 représente schématiquement des exemples de formes de palpeur dans le cas d'une mise en virage instantanée et sans dérive de l'avion, selon que le vent est un vent arrière (a), un vent SE-NO (b) ou un vent de travers (c),

10 la figure 6 représente schématiquement un exemple de forme de palpeur droit (D) et gauche (G) incluant la distance de mise en virage et la dérive de l'avion pour un vent SO-NE,

la figure 7 représente schématiquement un dispositif embarqué d'aide à la navigation selon l'invention.

15 Dans la suite on prendra comme exemple d'aéronef un avion.

Comme illustré sur l'organigramme de la figure 3, le procédé selon l'invention est basé sur l'affichage simultané (étape b) d'une trajectoire à capturer qui a priori n'évolue pas ou peu pendant la capture et d'un palpeur calculé (étape a) en fonction du vent à des instants successifs : dès 20 qu'il apparaît que le palpeur tangente la trajectoire à capturer, un ordre de mise en virage de l'avion (étape c) est donné, ce virage permettant compte tenu du vent de capturer au mieux la trajectoire. Sinon, les étapes a), b) et c) sont réitérées.

La comparaison entre le palpeur et la trajectoire à capturer est 25 illustrée figure 4 sur laquelle l'avion 3 est représenté à deux endroits A et B de sa trajectoire. Le palpeur 6A correspondant à la position A de l'avion 3, ne tangente pas encore la trajectoire 1 à capturer et les étapes a), b) et c) sont réitérées à l'instant suivant. Le palpeur 6B correspondant à la position B de l'avion 3 tangente la trajectoire 1 à capturer ; dans ce cas l'avion 3 est mis en 30 virage au point B pour un virage au taux maximal, c'est-à-dire au taux correspondant à celui du palpeur.

Ce taux de virage est typiquement celui qui correspond à une inclinaison en roulis de  $25^\circ$  ; il diminue à haute altitude.

Cette anticipation en B de la mise en virage permet de capturer la 35 trajectoire 1 au point B' et donc plus tôt que si l'avion avait été mis en virage

au point C en respectant fidèlement la trajectoire 1 ; déporté par le vent, l'avion 3 n'aurait alors capturé la trajectoire 1 qu'au point C' après avoir suivi la trajectoire 10. Cette anticipation permet en outre de prédire précisément le point B' de capture, c'est-à-dire la position par rapport au sol du point de capture et l'instant de capture et ceci quel que soit l'angle d'interception c'est-à-dire quelles que soient la position et l'orientation initiales de l'avion et quel que soit le mode de pilotage (avec ou sans guidage radar, ...).

Les étapes a), b) et c) de calcul, d'affichage et de mise en virage conditionnelle peuvent être réalisées automatiquement c'est-à-dire par les moyens de calcul embarqués à bord de l'avion.

Selon un mode de réalisation particulier, le pilote compare visuellement au moyen de l'écran de navigation, la trajectoire à capturer et le palpeur. Dès qu'il apparaît que le palpeur tangente la trajectoire à capturer, le pilote donne l'ordre de mise en virage de l'avion.

Les étapes a), b) et c) peuvent être réalisées pendant tout le vol. Elles sont de préférence réalisées sur commande du système de gestion de vol (« FMS », acronyme anglo-saxon de « Flight Management System »), ou sur commande du pilote, des deux côtés de l'avion et l'on obtient un palpeur droit et un palpeur gauche ou du côté du virage souhaité et l'on obtient un palpeur droit ou gauche.

Plus généralement, chaque étape de calcul, et/ou d'affichage et/ou de mise en virage conditionnelle peut être commandée par le pilote ou automatiquement par le système de gestion de vol.

La commande de l'étape a) et éventuellement des étapes b) et c) peut être sélectionnée par le pilote au moyen par exemple d'un menu présenté via une interface utilisateur telle que l'interface « MCDU », acronyme anglo-saxon de « Multi Control Display Unit », cette interface étant reliée au système de gestion de vol et aux récepteurs de navigation. Ce menu peut permettre au pilote de sélectionner pour le palpeur le côté du virage souhaité, le palpeur ne s'affichant alors que de ce côté.

Les étapes a), b) et éventuellement l'étape c) peuvent aussi être commandées par le pilote ou automatiquement à l'occasion d'un changement de mode de vol lors par exemple du passage du mode « HSV », acronyme anglo-saxon de « Heading Vertical Speed » dans lequel on subit le



vent, en mode FPA acronyme anglo-saxon de « Flight Path Angle » dans lequel on s'affranchit du vent.

Les étapes a), b) et éventuellement l'étape c) peuvent aussi être commandées par le pilote par d'autres moyens tels que la rotation par exemple d'un degré par le pilote d'un bouton de sélection, du côté du virage souhaité, le palpeur ne s'affichant alors que de ce côté.

Les étapes a), b) et c) peuvent être interrompues comme indiqué précédemment, sur commande du système de gestion de vol ou du pilote, par exemple en tournant le bouton de sélection dans le sens opposé.

Le palpeur est calculé en fonction du vent. On va d'abord considérer que la distance que parcourt l'avion pour atteindre l'inclinaison du virage (25° par exemple) est nulle ; on désigne aussi cette distance par distance de mise en virage.

La forme du palpeur résulte de la rotation de l'avion autour de son centre de virage composée avec une translation de ce centre par effet du vent. Lorsque la distance de mise en virage est nulle, elle est obtenue par une équation paramétrique qui s'exprime de la manière suivante dans un repère (O, x, y) centré sur le centre de gravité de l'avion, l'axe Oy coïncidant avec l'axe de l'avion :

$$\begin{cases} x = \pm R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t \\ y = R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t \end{cases} \quad (1)$$

$R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire (ou taux de virage) de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage.

Le signe devant  $R_{\text{air}}$  est le signe + lorsqu'il s'agit d'un palpeur à droite de l'avion (palpeur droit) et le signe - lorsqu'il s'agit d'un palpeur à gauche de l'avion (palpeur gauche).

La forme du palpeur dépend du vent : des exemples de forme de palpeur droit correspondant à cette équation (1) sont présentés figure 5. Ils ont été obtenus avec :

$R_{air} = 1.6 \text{ Nm (miles nautiques)} ; \dot{\theta} * R_{air} = TAS = 221 \text{ nœuds}$   
(vitesse linéaire sol de l'avion) ;  $\phi_x = \phi_y = 0$  ;

la courbe a) correspond à un vent arrière tel que  $V_x = 0$  et  $V_y = 30$   
nœuds ;

5 la courbe b) correspond à un vent Sud Est - Nord Ouest tel que  
 $V_x = -15$  nœuds et  $V_y = 20$  nœuds ;

la courbe c) correspond à un vent de travers tel que  $V_x = 40$   
nœuds et  $V_y = 0$ .

La forme du palpeur et donc la capture de la trajectoire à capturer  
10 sont optimales lorsque le vent est constant et lorsque l'accélération de l'avion  
ne change pas entre le début et la fin du virage.

Comme indiqué, l'équation paramétrique (1) ne prend pas en  
compte la distance de mise en virage, c'est-à-dire le segment de trajectoire  
correspondant au temps de mise en virage aussi désigné par temps de mise  
15 en roulis et qui est lié au temps d'inertie de l'avion ; une bonne approximation  
consiste à considérer que ce segment est droit et dans l'axe de la trajectoire  
de l'avion. Cela revient à ajouter pour le calcul de y un terme  $D_v$  de distance  
de mise en virage. Ce terme  $D_v$  s'exprime de la façon suivante :

20 
$$D_v = TAS * |\Delta_{rou}| / T_{xrou} + \ln * TAS$$

TAS étant la vitesse linéaire sol de l'avion, en nœuds,

$\Delta_{rou}$  la différence exprimée en degré entre l'angle de roulis à la fin  
du temps de mise en roulis, c'est-à-dire l'angle de roulis qu'aura l'avion au  
25 début du virage ( $25^\circ$  par exemple), et l'angle de roulis au début de la mise en  
roulis ( $0^\circ$  lorsque l'avion n'est pas déjà en virage),

$T_{xrou}$ , le taux de roulis en degré par seconde, qui dépend de  
l'avion,

et  $\ln$  un facteur d'inertie en seconde, qui dépend de l'avion.

30 L'équation (1) devient :

35 
$$\begin{cases} x = \pm R_{air} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t \\ y = R_{air} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v \end{cases} \quad (2)$$

Par ailleurs, lorsque l'avion est soumis à l'effet du vent, il subit une dérive ; il en résulte que l'axe de la trajectoire ne coïncide généralement plus avec l'axe de l'avion comme illustré figure 6. L'angle de dérive  $d$  est  
 5 l'angle entre ces deux axes.

Comme le palpeur est tangent au vecteur vitesse sol de l'avion, vecteur qui correspond à l'axe de la trajectoire, la forme du palpeur est finalement obtenue en appliquant à l'équation 2, une rotation de centre O et d'angle égal à l'angle de dérive.

10 La forme du palpeur est alors obtenue par l'équation suivante :

$$\begin{cases} x = [\pm R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [\pm R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{cases} \quad (3)$$

15

La forme des palpeurs droit et gauche présentés figure 6 par les courbes D) et G) a été obtenue à partir des données suivantes.

20 L'avion vole au cap  $275^\circ$  (comme représenté figure 1), coïncidant avec l'axe Oy avec une vitesse air de 228 nœuds ; son rayon de virage air est donc égal à 1.62 Nm et sa vitesse angulaire égale à  $228/1.62$  radians/heure. L'axe Ox coïncide avec l'orientation  $5^\circ$ . Les récepteurs de navigation indiquent un vent de 35 nœuds provenant du cap  $170^\circ$  (soit  $15^\circ$   
 25 par rapport à Ox), une route sol suivie à  $283^\circ$  et une vitesse sol de 242 nœuds. Les composantes  $V_x$  et  $V_y$  du vent sont respectivement 34 et 9 nœuds.

On obtient alors pour l'équation (1) d'un palpeur à droite :

$$\begin{cases} x = 1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9 t \end{cases}$$

30

De même, on obtient alors pour l'équation (1) d'un palpeur à  
 35 gauche :

$$\begin{cases} x = -1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9 t \end{cases}$$

5 La distance  $D_v$  de mise en virage à l'inclinaison de  $25^\circ$  est calculée à partir des données suivantes :

$$\Delta_{rou} = +25^\circ - 0^\circ, T_{X_{rou}} = 5^\circ/\text{sec} \text{ et } I_n = 2.7 \text{ sec.}$$

$$D_v = (242/3600) * (25/5) + 2.7 * (242/3600) = 0.517$$

10 Dans la mesure où l'angle de roulis d'origine est  $0^\circ$ ,  $D_v$  est la même pour les palpeurs droit ou gauche. Lorsque l'angle de roulis d'origine est supérieur à environ  $2^\circ$ , la distance de mise en virage est plus courte à droite qu'à gauche ; inversement, lorsque l'angle de roulis d'origine est inférieur à environ  $-2^\circ$ , la distance de mise en virage est plus courte à gauche qu'à droite.

15 En ajoutant cette distance sur l'axe  $Oy$ , on obtient alors l'équation (2) suivante pour le palpeur droit :

$$\begin{cases} x = 1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517 \end{cases}$$

20

On obtient de même l'équation (2) suivante pour le palpeur gauche :

$$\begin{cases} x = -1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517 \end{cases}$$

25

Comme la dérive subie est de  $8^\circ$  à droite ( $=283^\circ - 275^\circ$ ), il faut faire tourner le tracé correspondant à l'équation (2) de  $8^\circ$  à droite, soit  $-0.148$  radian.

La forme du palpeur droit obéit finalement à l'équation (3) suivante :

30

$$\begin{cases} x = [1.62[1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34t] \cos(-0.148) - [1.62\sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517] \sin(-0.148) \\ y = [1.62[1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34t] \sin(-0.148) + [1.62\sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517] \cos(-0.148) \end{cases}$$

La forme du palpeur gauche obéit finalement à l'équation (3) suivante :

$$\begin{cases} x = [-1.62[1 - \cos(t \cdot 228/1.62)] + 34t] \cos(-0.148) - [1.62 \sin(t \cdot 228/1.62) + 9t + 0.517] \sin(-0.148) \\ y = [-1.62[1 - \cos(t \cdot 228/1.62)] + 34t] \sin(-0.148) + [1.62 \sin(t \cdot 228/1.62) + 9t + 0.517] \cos(-0.148) \end{cases}$$

S'il résulte de la comparaison de ce palpeur avec la trajectoire à calculer que le point tangent correspond à une variation de cap de 223°, on peut calculer l'instant de capture  $t_c$  à partir du début du virage :

$$t_c = \text{variation de cap} / \text{vitesse angulaire}$$

$$t_c = (223 \cdot 3.14 / 180) / (228 / 1.62) = 0.02778 \text{ h} = 100 \text{ sec.}$$

Dans la mesure où  $t_c$  est calculé à partir du début du virage, il peut être utile pour le pilote d'ajouter le temps de mise en virage, c'est-à-dire le temps mis pour parcourir  $D_v$ . Dans l'exemple précité, ce temps est de l'ordre de 2s pour passer d'un angle de roulis de 0° à un angle de 25°.

On a pris comme exemple de trajectoire à capturer une trajectoire présentant une courbe ; l'invention s'applique également à des trajectoires rectilignes ou à d'autres formes de trajectoire.

On peut citer comme exemples de trajectoires à capturer, une trajectoire d'approche, une trajectoire d'évitement d'obstacles affichés sur l'écran de navigation (relief, masses nuageuses fournies par le radar météo, ...) ou de trafic éventuellement.

Le procédé décrit est mis en œuvre dans un équipement embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef.

Un exemple de cet équipement 100 est représenté figure 7. Il comporte de manière classique un ou plusieurs microprocesseurs 101 couplés à une mémoire de programme 102 de type ROM par exemple, à une mémoire de travail 103 de type RAM par exemple et à une ou plusieurs mémoires 104 de type ROM par exemple pour le stockage de la trajectoire à capturer et du palpeur, ainsi que des circuits 105 de transfert de données entre ces divers éléments. La mémoire de programme 102 contient le programme exécutoire du procédé, sous forme de code source, alors que la mémoire de travail 103 comporte des registres pouvant être mis à jour pour

le stockage de résultats des calculs. Cet équipement 100 comporte aussi une interface de communication 106 pour permettre l'échange de données avec des dispositifs comme par exemple avec l'interface utilisateur « MCDU », avec des capteurs, etc.

5 Ces éléments sont par exemple inclus dans le système de gestion de vol, « FMS ». Ils peuvent aussi être inclus sous forme de circuits intégrés dédiés, conçus pour mettre en œuvre le procédé.

10 L'interface utilisateur « MCDU » comprend au moins un écran de navigation, des moyens d'affichage sur cet écran de la trajectoire à capturer et du palpeur et éventuellement des moyens de commande du calcul du palpeur et/ou de l'affichage du palpeur et/ou de mise en virage de l'avion lorsque le palpeur tangente la trajectoire à capturer, via un clavier par exemple.

## REVENDECATIONS

1. Procédé d'aide à la navigation d'un aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes consistant à :

a) calculer en fonction du vent un palpeur, c'est-à-dire la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe,

b) afficher sur un écran de navigation le palpeur et une trajectoire sol à capturer, en vue de déterminer une mise en virage de l'aéronef permettant de capturer au mieux la trajectoire à capturer.

2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape consistant à donner l'ordre de la mise en virage lorsque le palpeur tangente la trajectoire sol à capturer.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque étape de calcul et/ou d'affichage et/ou d'ordre de mise en virage conditionnel est commandée automatiquement ou par le pilote de l'aéronef.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la forme d'un palpeur à droite est donnée par une équation paramétrique de la forme :

$$\begin{cases} x = [R_{air}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{air} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [R_{air}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{air} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{cases}$$

$R_{air}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage,  $D_v$  la distance de mise en virage et  $d$  l'angle de dérive.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'aide à la navigation d'un aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes consistant à :

a) calculer en fonction du vent un palpeur, c'est-à-dire la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe,

b) afficher sur un écran de navigation le palpeur et une trajectoire sol à capturer, en vue de déterminer une mise en virage de l'aéronef permettant de capturer au mieux la trajectoire à capturer.

2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape consistant à donner l'ordre de la mise en virage lorsque le palpeur tangente la trajectoire sol à capturer.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque étape de calcul et/ou d'affichage et/ou d'ordre de mise en virage conditionnel est commandée automatiquement ou par le pilote de l'aéronef.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la forme d'un palpeur à droite est donnée par une équation paramétrique de la forme :

$$\begin{cases} x = [R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{cases}$$

$R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage,  $D_v$  la distance de mise en virage et  $d$  l'angle de dérive.



5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la forme d'un palpeur à gauche est donnée par une équation paramétrique de la forme :

$$\begin{cases} x = [-R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [-R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{cases}$$

$R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage,  $D_v$  la distance de mise en virage et  $d$  l'angle de dérive.

6. Equipement embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef comportant au moins une mémoire de programme et une interface utilisateur, caractérisé en ce que la mémoire de programme comporte un programme de calcul d'un palpeur c'est-à-dire de la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe, et un programme d'affichage sur l'interface utilisateur d'une trajectoire à capturer et du palpeur.

9. Equipement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'interface utilisateur comprend des moyens de commande du calcul du palpeur.

10. Equipement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'interface utilisateur comprend en outre des moyens de commande de l'affichage du palpeur.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la forme d'un palpeur à gauche est donnée par une équation paramétrique de la forme :

$$5 \quad \begin{cases} x = [-R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [-R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{cases}$$

10  $R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage,  $D_v$  la distance de mise en virage et  $d$  l'angle de dérive.

15 6. Equipement embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef comportant au moins une mémoire de programme et une interface utilisateur, caractérisé en ce que la mémoire de programme comporte un programme de calcul d'un palpeur c'est-à-dire de la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il  
20 débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe, et un programme d'affichage sur l'interface utilisateur d'une trajectoire à capturer et du palpeur.

25 7. Equipement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'interface utilisateur comprend des moyens de commande du calcul du palpeur.

8. Equipement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'interface utilisateur comprend en outre des moyens de commande de l'affichage du palpeur.

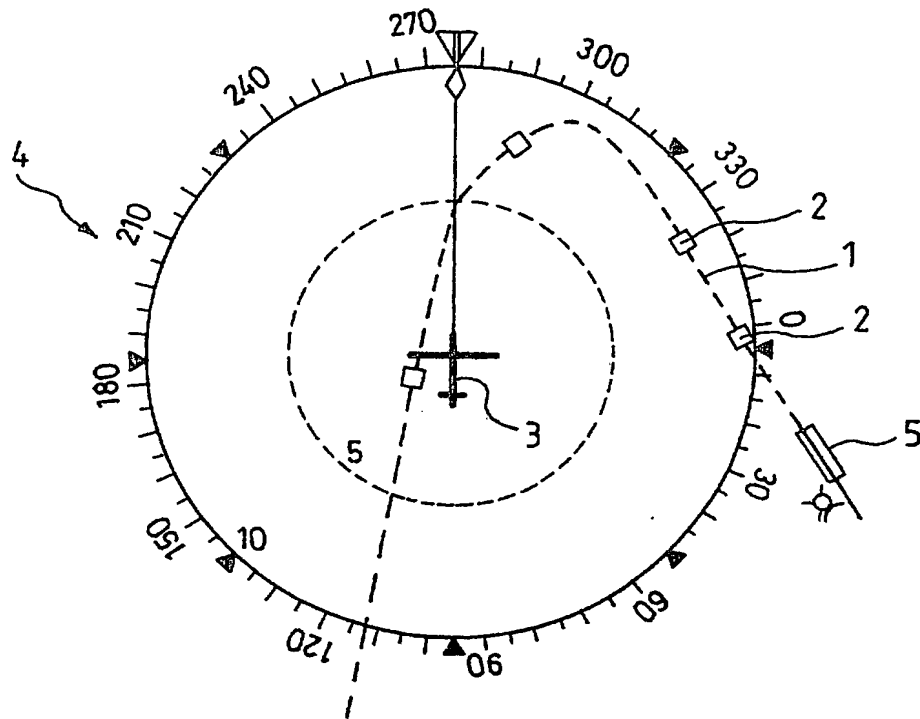


FIG.1

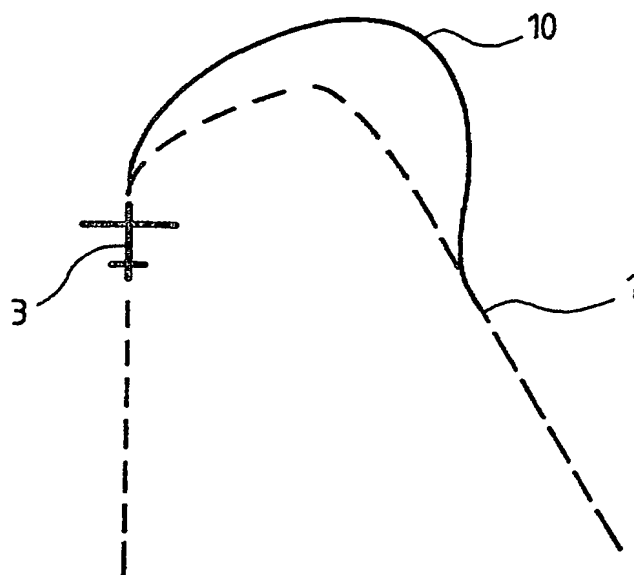


FIG. 2a

2/4

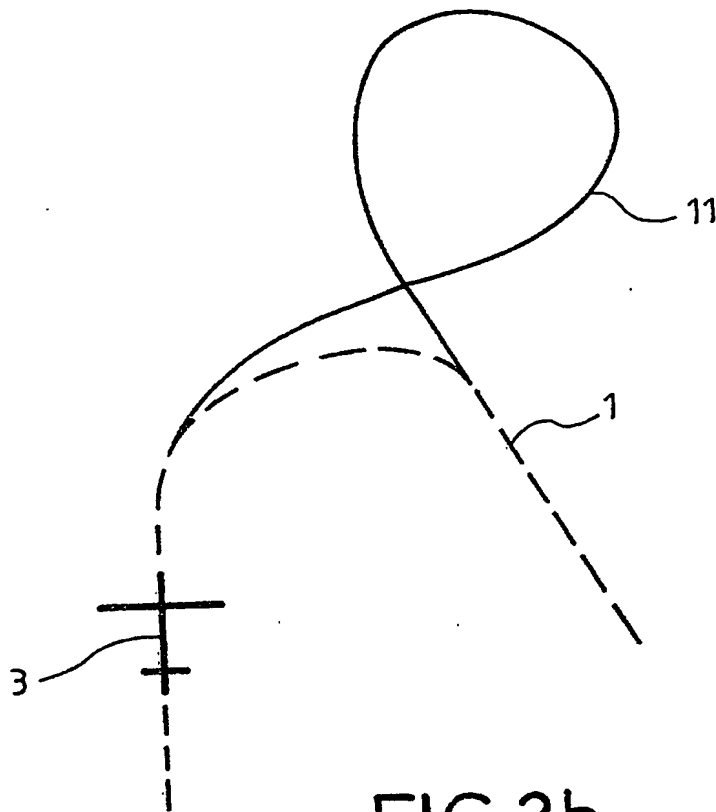


FIG.2b

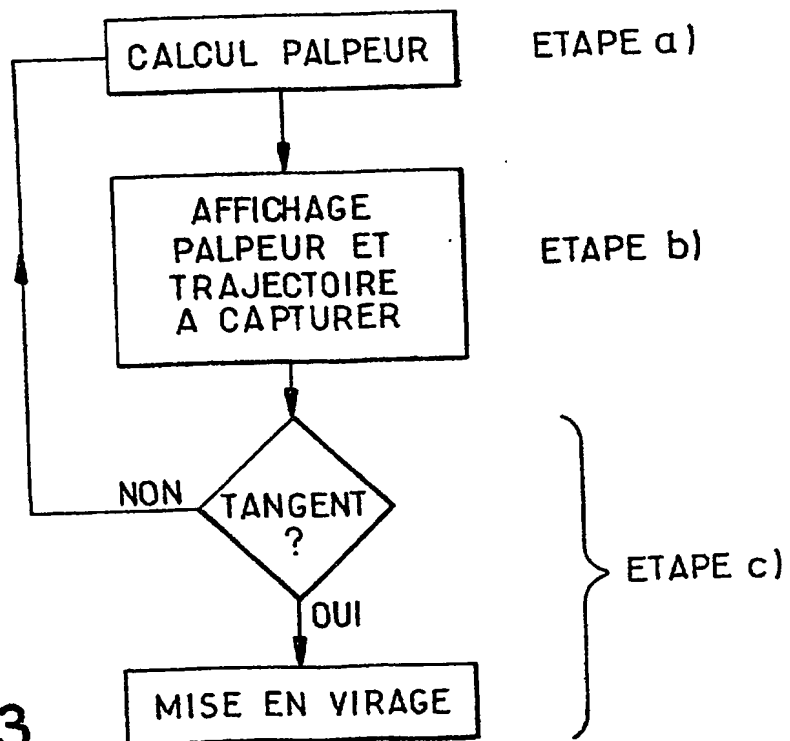
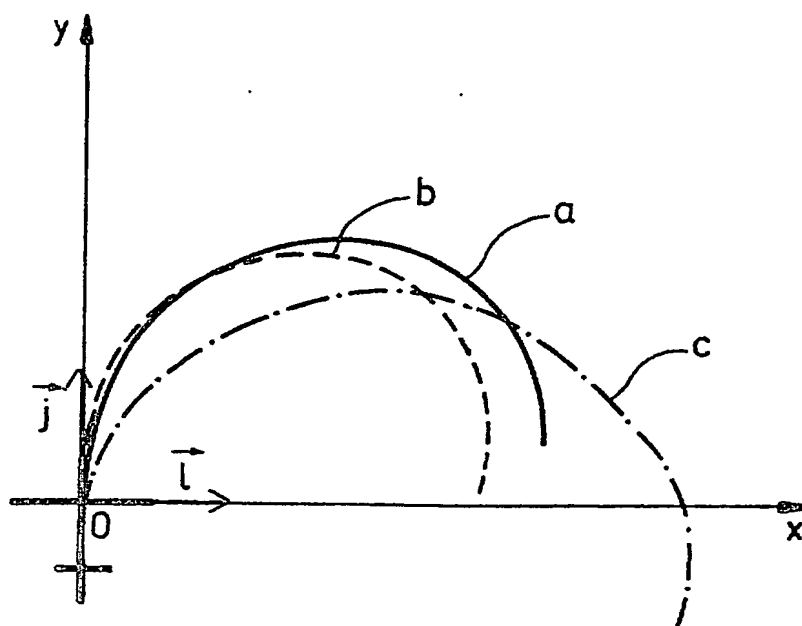
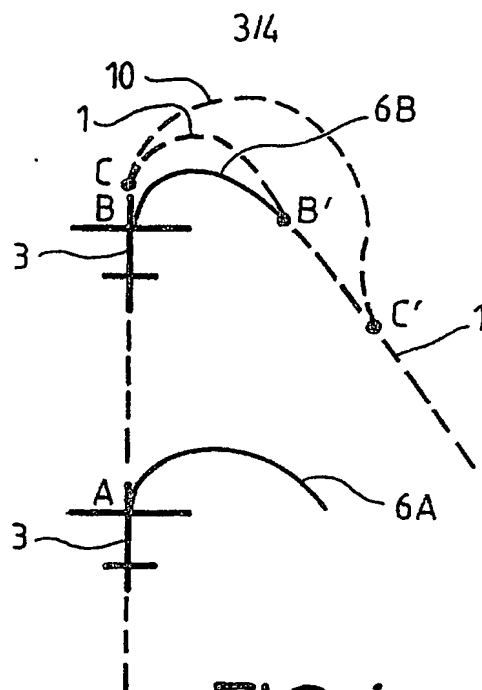


FIG.3



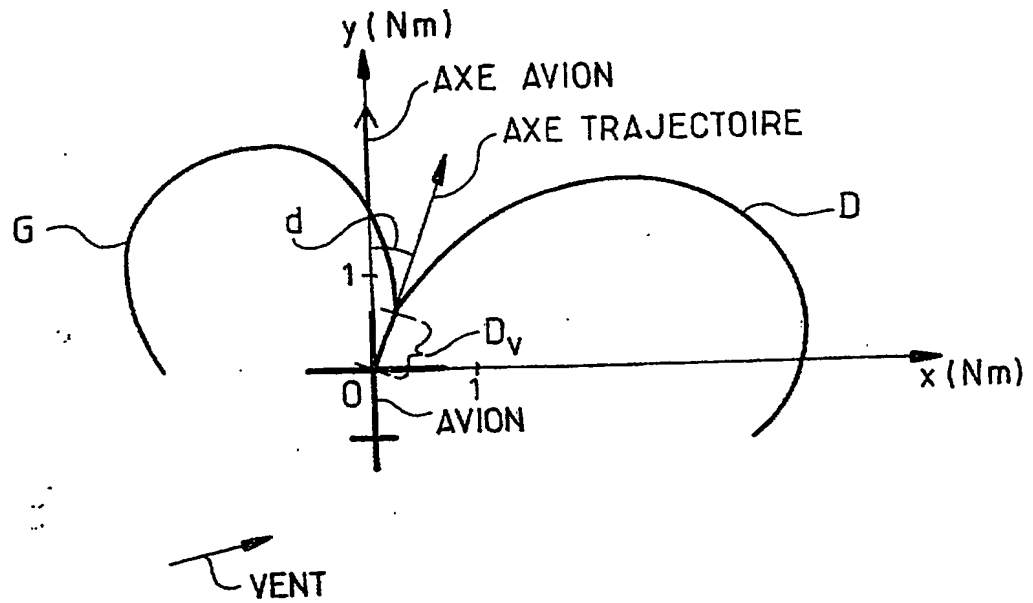


FIG.6

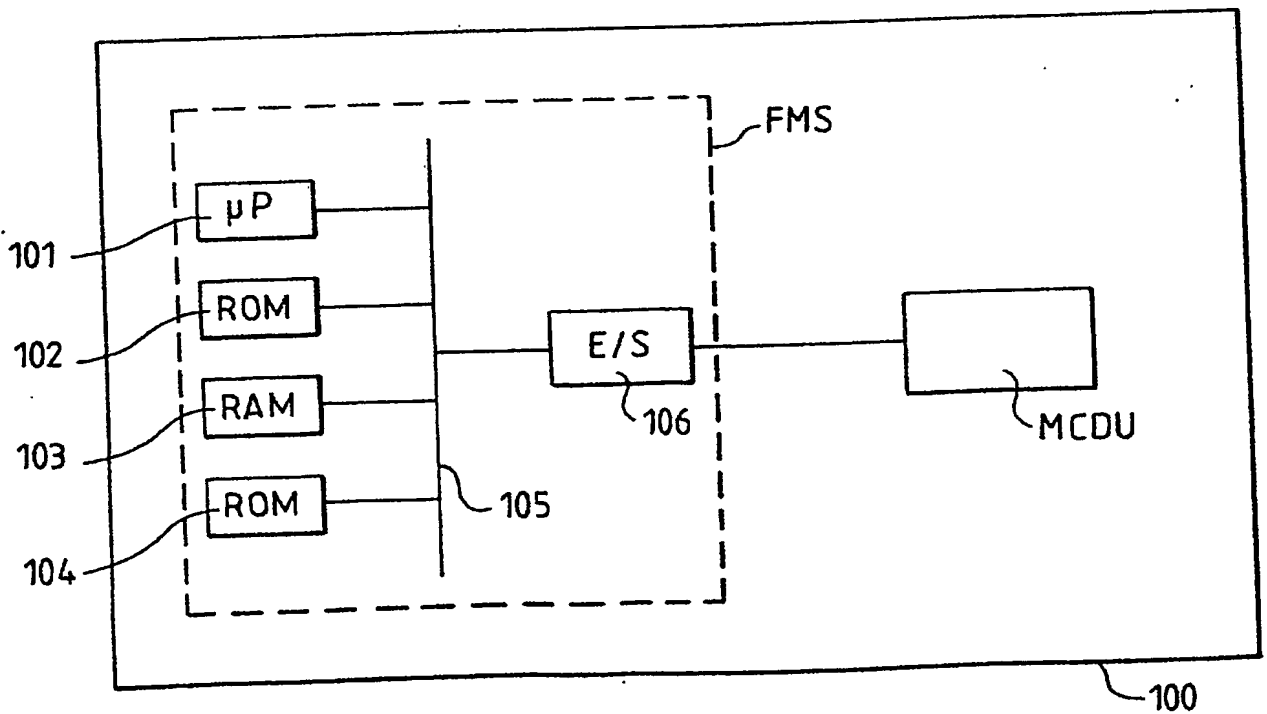


FIG.7

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.  
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 2608

Vos références pour ce dossier (facultatif)		62837	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0208470	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
PROCÉDE D'AIDE A LA NAVIGATION D'UN AERONEF ET DISPOSITIF CORRESPONDANT			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
THALES			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		JAILLANT	
Prénoms		Jean-Christophe	
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 13, Avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
05 JUL. 2002 Michel GUERIN			

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**